Ⅱ　リスクアセスメント結果に基づくリスク低減策の概要

1　安全化の基本

以下の３点が基本である。これらの何れかまたは組み合わせでリスクを低減する。

（1）本質安全化：(機械の）危険源を取り除く

最も確実だが、危険源を取り除くと大抵の場合、機械設備の本来機能までもが損なわれてしまうので難しい。

（2）停止安全：機械の作動を止めて安全確保する

人の存在と機械の作動を時間的に分けることで、作動する機械による危害を回避できる。

《機械が動いている時は人が近づけない、人が近づく時は機械が止まる》

※一部の例外を除き、生産の場で使うほとんどの機械は電源をオフにするなどして止まれば（止めれば）安全。

（3）隔離安全：人と機械が存在する場所を分離して安全確保する

人と機械を空間的に分けることで、接近・接触による危害を回避できる。

※電源をオフにしても熱的な危険源が残るヒーターなどは、隔離が必須。

2　４段階で実施する保護方策

図5．3のとおり、4種類の方策があり、できる限り上位のものを優先適用すべきである。上位の方策は人の意志に依存しないため安全確保の性能が高く、災害回避に優れている。下位の方策はミスがつきものの人に頼って安全を確保するものなので、できるなら避けたい。

図3　4つの保護方策

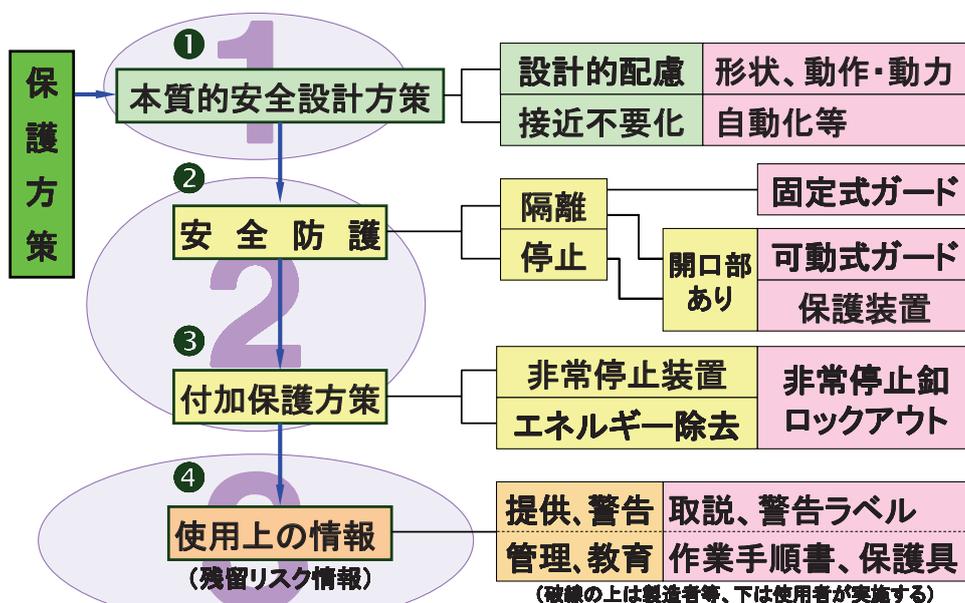
保護方策

❶ 本質的安全設計方策 — 設計的配慮：形状、動作・動力／接近不要化：自動化等

❷ 安全防護 — 隔離：固定式ガード／停止：開口部あり：可動式ガード、保護装置

❸ 付加保護方策 — 非常停止装置、エネルギー除去：非常停止釦、ロックアウト

❹ 使用上の情報（残留リスク情報） — 提供、警告：取説、警告ラベル／管理、教育：作業手順書、保護具

（破線の上は製造者等、下は使用者が実施する）

※背景の大きな丸数字は、3ステップメソッド（製造者向け）

「本質的安全設計方策」を第1番に考えて対処するのが最も望ましい方法であり、機械メーカーであれば、知恵を絞って初期の段階から設計図面の中に安全を織り込んでおくことが大事である。また、設計的

な観点で保護方策を考案することは機械ユーザーにも可能であり、QC活動でも時折そのような事例を目にすることがある。

順位4番目に位置付けられている「使用上の情報（残留リスク情報）の提供」は、機械側に保護方策を施せなかった場合に適用するものである。この場合、情報提供すれば機械メーカーとしての保護方策は終了となるが、機械ユーザーは、この残留リスク情報に基づいてリスクアセスメントを行い、その結果、必要な技術的な方策や人的、管理的な方策を実施することが必要である。

これらの諸方策を実施してすべてのリスクが適切レベルに下がって初めて、現場のオペレータに機械を使用させることができる。これが機械包括指針における「機械の安全な使用」の考え方である。

なお、図3の背景の大きな丸数字1～3の括りは、国際規格やJISに言うスリーステップメソッドである。これは機械メーカーが行うリスク低減策の順位付けとされているが、中災防では、ステップ2の枠で示される「安全防護および付加保護方策」を、機械に任せる「安全防護」と、人に任せる「付加保護方策」の2つに分け、保護方策を4段階にしている。これは、両者で安全確保の確実性に大きな差があるためである。

2．1　本質的安全設計方策によるリスクの低減

本質的安全設計による方策を大別すると、次の２つが挙げられる。

（１）設計上の配慮（設計手法）により危険源そのものをなくす、あるいは低減する。

（２）作業者が危険区域（暴露域ともいう）に入る必然性をなくす、あるいは低減する。

これらを単独あるいは組み合わせて適切なリスク低減を実現する。

（１）危険源そのものをなくす手段

①　機構的に危険な部位をなくす例

1．機械構造で、人が接触する可能性のある部分から突出部、鋭利部（エッジ）を排除する
2．可動部分と開口部の間隔を適切にして、押しつぶし、せん断を防止する

②　エネルギーを小さくする例

1．機械の機能に必要かつ最小限の作動力（パワー）に制限する
2．可動部の質量および速度を小さくする

③　構造計算、材料等の吟味など一般的設計技術・知識を活用する例

1．使用材料に配慮する（経年変化、摩耗、脆性破壊、毒性、有害成分の滲出・飛散など）
2．騒音や振動の発生、危険物の飛散、放射線の漏えいに配慮する

④　本質的に安全な技術や動力源を使用する例

1．爆発性雰囲気で使う制御機器やアクチュエータに本質安全防爆構造のものを採用する
2．操作用電源など人が触れる可能性が高いものには、DC24Vなどの低電圧を使用する

⑤　ヒューマンファクターを考慮した設計の例

1．ストレスの大きな作業姿勢、動作を回避する
2．手動の操作機器の要件を守る 押ボタンの位置や、レバー・ハンドルの作動方向が機械の動作方向と一致すること。 機能と操作片（押ボタン等）はなるべく1対1とすること。
3．大きな設備での配慮事項（オペレータが周囲の安全確認をできるように） 設備形状を考慮する。（視認性を確保する。死角を減らす） 機械起動前に警報信号を出して周囲の作業者に知らせるシステムにする。

⑥ 制御システムの本質的安全設計の例

1. 電源投入(動力源を始動)だけでは機械の可動部を起動させない
2. 機械の起動や加速(安全なときの操作)のトリガ(きっかけ)は、電圧の印加により行い、 停止や減速(危険が見込まれるときの操作)のトリガは、電圧の遮断によって行う
3. 動力を中断した後の不意の再起動を防止する
4. 信頼性の高い構成部品を使う
5. 非対称故障モードの構成部品を使う(安全側に故障するもの、または危険側よりも安全側に故障する 確率が極めて高いもの)
6. 重要な構成部品を冗長化、多重化(異種冗長化)する
7. 運転モードの切替えが安易に行えないようにカギでモード固定する
8. 段取り、ティーチング、保全の運転モードでは、安全要件を満たすイネーブル装置・ホールド・ツゥ・ラン 制御・両手操作ボタンによって機械の運転を行う。
9. 同上の運転モードでは、動作制限(作動速度の減速、作動力の低下、作動範囲の限定など)も行う。
10. 電磁放射の影響をなくす(誤動作防止、他の機器への影響もなくす)

(2) 作業者が危険区域に入る必然性をなくす手段

① 設備の故障を減らし、作業者が危険源にさらされる機会を減らす例

1. 機械の構成要素に信頼性の高い部品を使用し、機械自体の長期安定性を確保する

② ワーク供給/取出作業の機械化、自動化で作業者が危険源にさらされないようにする例

1. 自動供給・排出装置を機械に組み込む
2. 移載装置、ロボットハンド等の使用により、作業者に直接ワークを扱わせない

③ 保全作業をするときの作業ポジションについて配慮する例

1. 危険区域外から作業できるような仕組みを設計段階で作り込む
2. 足場、階段、梯子、手摺り等を適切に配置して危険源にさらされる可能性を減らす

④ 機械の据え付け安定性を向上させる例

1. 機械の転倒、構成部品の落下がないように設計的に配慮する(通常使用時)
2. 機械の輸送・組立設置調整・解体時などでも同様の配慮をする

2.2 安全防護によるリスクの低減

この安全防護による方策を大別すると、次の2つが挙げられる。

(1) ガードの設置により人と危険源を空間的に分ける。

(2) 保護装置の設置により人と危険源を時間的に分ける。

これらを単独あるいは組み合わせて適切なリスク低減を実現する。

現実的な、特に機械ユーザー側で適用を図る保護方策としては、この安全防護による方法が主力になるので、さまざまな手法を十分に把握しておく必要がある。

(1) ガードの設置によるリスクの低減

a. ガードの機能:(危険源から人を空間的に隔離する)

① ガードで包囲した空間に人が接近することを防止

・体の全体または一部(手足など)が危険源に届かないようにする。

② 機械が放出する様々な物質やエネルギーが人に接触することを防止

・切り粉、溶接スパッタ・ヒューム、切削油、ワーク自体（脆いもの、完全に保持できないもの）、有害化学物質など、さまざまな物質の飛来を防ぐ。

・騒音、低温熱源、赤外線（高温熱源）、紫外線、放射線などのエネルギーの到来を防ぐ。

b. ガードの種類・要件：（各部の寸法、安全距離を安全規格に合致させる）

① カバー、安全柵など

② 保護構造物の寸法、安全距離（JISB9707、JISB9708、JISB9711およびJISB9716）

・これらのJISを参考に、適切な寸法で製作、設置してはじめて安全確保が適切に行われる。

c. ガードの種類：

① 固定式ガード（工具を使用するか、取り付け部分を破壊しないと外せないもの）

・恒久的に固定か、工具を使って外さないと内部に身体部分が入らない構造であること
・リスク低減に最も効果的な位置（場所）に常に保持できること

② 可動式ガード（工具を使用せず、手で開くことができるもの）

・動力伝達部（歯車、ベルト等）を隔離するガードは、ヒンジ等により開く方式とし、ガードを機械から取り外せない構造にすること
・動力伝達部以外の可動部を隔離するガードには、インターロック付きガードを使用すること
・上記のうち、慣性で可動部が直ちに停止しないものは、施錠式インターロック付きガードを使用すること

(a)インターロック付きガード

・ガードを閉じないと、当該機械機能部分の運転を開始（始動）できないこと
・ガードを閉じたことを検知しただけでは、当該機械機能部分を起動できないこと
・運転中にガードを開くと、運転許可信号が解除され、機械の運転が停止されること
・このガード部分が、危険区域に進入できる唯一の手段であること

(b)施錠式インターロック付きガード

・ガードを閉じたうえ、施錠しないと、当該機械機能部分の運転を開始（始動）できないこと
・当該機械機能部分の運転が停止しないと開錠できず、またガードを開けられないこと
・ガードを閉じ、施錠することだけでは当該機械機能部分を起動できないこと

（２）保護装置の設置によるリスクの低減

a. 保護装置の機能：（危険源から人を時間的に隔離する）

① 体の全体または一部（手足など）が所定の限界を越えて危険源に近づいたことを検知する

② 人の検知を運転許可信号のオフまたは運転停止信号のオンとして処理し、機械を止める

b. 保護装置の要件：（安全規格に合致させる）

① 各種のJIS（JISB9960-1、JISB9704-1、-2など）による電気的要求事項を満足する装置とする

② 保護装置の故障時に安全確保ができる「安全確認型」の機能を持たせる

c. 保護装置の種類：（電気制御で安全を確保する装置が大半）

① トリップ装置

①－１．光線式安全装置（光電管を使った検出装置）

・多光軸のものを使う際は、光軸のピッチを吟味し適切な安全距離を確保する （1光軸のものを並べて使う際も同様の配慮が必要である）
・光軸ピッチとの安全距離がクリアされても、人体の進入速度との関係で安全距離を再度見直す必要がある（JISB9715「機械類の安全性－人体の接近速度に基づく保護装置の位置決め」を参照）

①－２．エリアセンサー（レーザースキャン方式）

レーザー光で扇形にスキャニングしその範囲にいる人や物体を検出し機械を停止させる。

・スキャン範囲はセンサー本体を中心に60～180度程度で、人体検出は数m以内である
・レーザーはおおむねクラス1（人体に障害を与えない低出力）を使用している

①－３．マットスイッチ

マットスイッチを人体が踏んだとき、または物体が乗ったとき機械を停止させる。

・制御方式には2線式と4線式があり、4線式は断線等の故障検出が可能
・4線式マットスイッチは、高度な故障検出（短絡、接触不良など）が可能なコントローラを有する。

①－４．ロープスイッチ（トリップワイヤ）

人体がワイヤと強く接触したときや、意図的にワイヤを引いたときに機械を停止させる。

・あらかじめワイヤに張力を与えておき、ワイヤの切断・緩み時にも機械を停止できるものがある
・確実な作動をさせるには、ワイヤの両端にロープスイッチ本体を取り付ける
・ワイヤは、数十mまで伸ばせるものもあり、非常停止ボタンに比べ広範囲の安全を確保しやすい

①－５．回転ゼロ確認センサー

回転体の物理的な回転停止を検出し、その検出信号を施錠式ガードに利用する。

・回転停止は、モータ電源供給停止やモータ端子波形で判断するのではなく、実際に回転する部分が物理的に動かなくなったことを検出するので確実である
・施錠式インターロック機器（電磁ロックスイッチなど）と組み合わせて可動式ガードなどに応用する
・回転体に金属部・非金属部を設け、それが回転により交互に現れるのをセンサーヘッド（金属検出器）で検出する方式で、一定時間変化がなければ停止したものと見なしている

② その他の装置

機械に接近して行う作業（例えば、ロボットのティーチング《教示》作業、機械動作の設定替え、保全作業など）の安全確保に使用するもので、オペレータの不注意、あるいは予期しない機械の起動を防ぐために各種の装置がある。

②－１．イネーブル装置

主にボタン形状であり、そのボタンを適切に押しているときだけ、その他の各種の手動操作ボタン類が電気的に操作可能となり、機械を操作できるようにするもの。

・通常、手動操作装置に押しボタンやレバーとして存在し、作業時にその手動操作装置を持つと、特に意識しなくても自然にそれを作動状態にできる（押される）位置に取り付けられている
・手動操作装置を台上に置いたり、壁に掛けたりした場合は、このイネーブル装置は作動状態にはならないので、何かが手動操作ボタン上に乗っても不意の起動をすることがない

②－２．ホールド・ツゥ・ラン制御

手動操作のスイッチ等で、それを作動させている間に限って機械の運転操作ができるもの。

・押しているときだけ機械が動き、手を離せば機械はその場停止する
・寸動ボタンと似ているが、寸動は一押しで一定量（一定時間）動くものである。ホールド・ツゥ・ランは押している間だけ動く機能。手を離せば直ちに停止することが寸動とは大きく違う

2．3 付加保護方策によるリスクの低減

その名の通り、付加的に利用すべきレベルの方策で、大別すると次の5つが挙げられる。

(1)非常停止機能

(2)エネルギー遮断・消散手段

(3)被災者の脱出・救助手段

(4)機械の運搬時の安全な取り扱い手段

(5)機械類への安全な接近手段

なお、このうち非常停止機能は、本質的安全設計や安全防護の方策のバックアップとして必ず設けるべきものである。

（1）非常停止機能

通常、電気・電子回路(制御システム)でこの機能を実現させる。下に示したJISの規定に基づくほか、関連する電気機器類をJISB9960-1「機械類の安全性－機械の電気装置－第1部:一般要求事項」に基づいて設計・選定することが必要である。

表12 非常停止の要求事項（JISB9703、JISB9700-2に基づく）

1	非常停止用の押ボタン、レバーなどは明確に識別・視認かつ操作できること
2	非常停止ボタンなどに作業者等が速やかに安全かつ容易に接近できること
3	新たな危険源を生じることなく迅速に機械を停止できること。そうでなければ非常停止が最善策かどうかも見直してみることが必要
4	非常停止を解除するまで、非常停止の効果を持続しなければならないこと
5	非常停止の解除は手動にて、非常停止を発した位置でのみ可能であること
6	非常停止を解除しても、直ちに機械が再起動しないこと(再起動の許可だけであること)
7	使用制御機器・回路の信頼性を適切に選択すること(制御カテゴリの選択)
8	必要な場合、非常停止機器が他の特定の安全防護物の作動を開始／許可できるようにすること

（2）エネルギー遮断・消散手段（電気、油圧、空圧、位置エネルギーなど）

特に保全や修理に関して、供給されるエネルギーを遮断、また蓄積されたエネルギーを消散させるなどして機械の作動を止める。

・保全や不具合発生時にすべてのエネルギー源から機械を遮断する手段を設ける 主電源の遮断レバー(ただし安全回路の電源は最後まで生かす。) 空圧源を遮断する。バルブを開いて回路の圧力を抜く。シリンダ等の残圧を抜くなど
・必要な場合には機械的なブレーキを掛ける 自動ロックされない場合で、重力や振動等で意図せずに機構が動く可能性があるとき
・遮断したエネルギーを単純な手段で復活させない ブレーカーハンドル、ハンドバルブ等の遮断装置は「遮断」位置で施錠する

（3）被災者の脱出・救助手段

災害が起きたときを想定し、できるだけ早く助け出して被害を最小限にするための方策を考える。「危害のひどさ」を軽減する方策として位置付けることができる。

・非常時、作業者が危険源から直ちに逃げられる脱出ルートや避難場所の確保
・非常停止で止まった機構部分を手で動かすための手段

・機構部の動作を逆転できる構造・手段（動きを戻して逃げ出す）
・下へ降りるための装置を係留する手段
・被災者が救助を求める伝達手段

（４）機械の運搬時の安全な取り扱い手段

人手で移動、運搬ができない機械やその構成部品を移動等するために、以下のような適切な付属装置を装備する必要がある。

・スリング、フック、アイボルト、固定用ネジ穴を備えた標準の吊り上げ用具
・地上で取り付けが不可能な場合の、吊り上げフックを備えた自動つかみ取り用具
・フォークリフトで運搬される機械のための案内溝
・機械組み込みの吊り上げ用具

（５）機械類への安全な接近手段

大型の機械では、機械に登って作業する時のために安全に機械に接近できるように、階段、ハシゴ、プラットホームなどの付帯設備を設ける。（JISB9713-1～-4）

・プラットホーム、階段は、機械の危険区域に接近できないように配慮する
・高所への接近手段には墜落に対する保護手段を備えなければならない
・機械への接近のために、必要な補助具（踏み段、取っ手など）を備えなければならない

２．４　使用上の情報によるリスクの低減

使用上の情報を大別すると、次の2つが挙げられる。

（1）機械の本来的な正しい取り扱い方法（意図する使用）についての情報

（2）残留リスク（技術的に低減できなかったリスク）についての情報

後者が機械安全を確保する4つ目の方策となる「使用上の情報」である。

・機械メーカーが設計製造段階で技術的にどうしても低減することができなかったリスクに関する情報、並びにそれを回避するために必要な方策に関する情報。

・これを機械の使用者に伝える方法としては、取扱説明書に明記するほか、機械本体の該当リスク発生部分ないしはその近くに警告ラベル、標識を貼るなどの方法がある。

・この情報には、予見可能な誤使用に対して警告することも含まれている。

・一番大切なことは、**使用上の情報で提供した保護方策は、機械ユーザーによって実施されたときだけ有効である**、という欠点に留意しなければならない。

（１）使用上の情報を作成する上でのポイント

次の3つの大事なポイントがある。機械メーカー向けの書きぶりになっているが、情報を受け取る機械ユーザーにとっては、これらが適切に実施されているかを確認することになる。

①　残留リスク情報の提供で、設計上の不備を補ってはいけない

保護方策の上位3段階で技術的に対応可能なものを、情報提供で代替してはいけない。

②　使用上の情報（残留リスク情報）は、機械のライフサイクル全般が対象でなければならない

通常の使用段階のほか、運搬、組立・設置から分解、廃棄に至る全情報とすること。

③ 情報提供は明確に機械ユーザーに理解できるように配慮しなければならない

取扱説明書そのほかに記載する警告の文章や語句、製品に取り付けた標識、信号等の警告装置、記号、図表などを使って通知する。オペレータ等の注意を喚起するために、これらの方法を単独で使うだけでなく複数組み合わせることも重要である。

さらにユーザーがその情報の存在を明確に認識できるように配慮する。すなわち、取扱説明書のどこに書いてあるか、機械のどこに標識が貼ってあるか、すぐわかるように配慮すべき。

表5．13　使用者に伝える情報を作成する上での注意点

1	・情報は、当該型式（シリーズ、型式）の機械と明確に関連付けてあること
2	・簡潔な表現、一貫した用語や単位を使うこと
3	・一般の（専門家でない）ユーザーが直ちに理解できる形式、表現にすること

（２）使用上の情報の内容

使用上の情報は、安全でかつ正しい機械の使用を確実にするために必要なすべての指示事項を含まなければならない、とされている。

① 残留リスクそのものの内容

技術的に対応できず、製品（使用）段階で残っているリスクについて、その危険源、危害が発生する状況および危害のひどさなどを、リスクアセスメントの結果に基づき、明確に提示する。

② 残留リスクを回避するための情報

機械ユーザーが行うリスク回避策について、考え得る限り、実現可能で有効な方法を提示する。提示する手段としては、取扱説明書に記載するべきもの、機械本体の危険個所に掲示した方が良いもの等あるので、それぞれ適切な提供方法を考えなければならない。